

## 湘潭某工业园周边稻田土壤及稻米镉污染的风险评价

唐贞<sup>1</sup>, 杨仁斌<sup>1\*</sup>, 雷鸣<sup>1</sup>, 唐世荣<sup>2</sup>, 宋正国<sup>2\*</sup>, 彭莎<sup>1</sup>

(1.湖南农业大学 农业环境保护研究所, 湖南 长沙 410128; 2.农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

**摘要**:采用单因子指数法和潜在生态危害指数法评价了湖南湘潭市某工业园区周边稻田土壤的污染现状及其潜在风险,并对成年人食用当地稻米的健康风险进行了评价。结果表明,该工业园区周边稻田土壤镉(Cd)含量的变幅为 1.27~4.22 mg/kg,属重度镉污染;土壤潜在生态危害系数( $E_i$ )均大于 320,受到极强生态危害;园区边生产的稻米 Cd 污染风险商值(HQ)为 1.61~7.44,对人体健康产生影响的可能性很大,明显存在 Cd 的潜在健康危害。

**关键词**:稻田土壤;稻米;镉污染;生态危害;健康风险;湘潭

中图分类号:X820.4 文献标志码:A 文章编号:1007-1032(2012)01-0092-04

### Risk assessment of Cd in paddy soil and rice sample collected from an industrial park of Xiangtan

TANG Zhen<sup>1</sup>, YANG Ren-bin<sup>1\*</sup>, LEI Ming<sup>1</sup>, TANG Shi-rong<sup>2</sup>, SONG Zheng-guo<sup>2\*</sup>, PENG Sha<sup>1</sup>

(1. Institute of Agro-Environmental Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Institute of Environmental Protection of Ministry of Agriculture of China, Tianjin 300191, China)

**Abstract**: Used the single factor index method and the potential ecological risk index were used to evaluate Cd pollution and its potential risk in paddy soils around an industrial park in Xiangtan. The human health for a local adult also was analyzed. The results showed that the ranges of concentrations of Cd in soils were 1.27–4.22 mg/kg, indicating those paddy soils were suffered heavy Cd contamination. The potential ecological risk factors( $E_i$ )for Cd in the soils were more than 320, demonstrating soil Cd contamination around industrial area. The hazard quotient of Cd in rice growth in those contaminated paddy soils ranged from 1.61–7.44, indicating that the potential health risk of Cd pollution was obvious. The local adult who consumed the contaminated rice was suffered from Cd pollution.

**Key words**: paddy soil; rice; Cd pollution; ecological hazard; health risk; Xiangtan

目前,稻米重金属污染问题已受到社会广泛关注。镉(Cd)是人体非必需且有毒的元素,进入人体的Cd与体内的蛋白质及各种酶发生作用,而使之失去活性,并在人体某些器官中积聚起来造成慢性中毒,诱发各种疾病<sup>[1]</sup>。甄燕红等<sup>[2]</sup>调查发现,在中国华东、东北、华中、西南、华南和华北县级以上市场随机采购大米样品中,10%左右的市售大米Cd

含量超出国家食品卫生标准值。张良运等<sup>[3]</sup>的研究结果表明,江西、湖南、安徽和广东等中国南方典型水稻产区70%以上的供试大米Cd含量超标;因此,稻米的食用安全问题,特别是中国长江以南以稻米为主食的居民健康风险问题备受关注。

湖南为中国的有色金属之乡。随着采矿和冶炼工业的发展,矿区周边的稻田土壤受到不同程度的

收稿日期: 2011-06-17

基金项目: 国家农业部项目(200903015); 国家自然科学基金项目(21007014); 农业部产地环境与农产品安全重点开放实验室项目(2010-zyj-10)

作者简介: 唐贞(1983—),女,湖南郴州人,硕士研究生,主要从事环境污染物及检测技术研究,wyj1958@163.com;\*通信作者,yrb4806@yahoo.com.cn,forestman1218@163.com

重金属污染,且日趋严重<sup>[4]</sup>。雷鸣等<sup>[5]</sup>认为,Cd是湖南稻米中影响人体健康的主要因子。笔者调查了湖南湘潭市某工业园区周边土壤-水稻系统Cd污染现状,采用单因子指数法评价当地土壤的污染现状,并对成年人就地消费的健康风险进行了评估,旨在为Cd污染稻田土的污染诊断、污染治理和修复以及粮食安全和农业可持续发展研究提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于湘潭市某工业园区周边,属大陆型亚热带季风性湿润气候,历年平均日照时数1 640~1 700 h,年降水量1 200~1 445 mm,年平均气温16.7~17.4℃,土壤类型为第四纪发育红壤<sup>[6]</sup>。当地农民主要耕作一季晚稻,收获时间一般在10月,常年引用湘江水(经鱼塘蓄积)进行灌溉。目前,湘江水中的主要重金属Cd的入河量为148.55 t/d<sup>[7]</sup>。

### 1.2 主要仪器与设备

主要仪器设备有石墨炉原子吸收光谱仪(AA240FS, VARIAN, 美国)、F型火焰原子吸收分光光度计(TAS-990, 普析, 北京)、消解仪等。

### 1.3 样品采集及制备

于2010年9月上旬,采用GPS定位,以农田田埂为界,随机选择耕作稻田(种植晚稻)为采样单元。单元面积约0.1~0.3 hm<sup>2</sup>,共20个。每个单元均采用十字交叉法采集耕作层0~20 cm的土壤约1 kg,经自然风干后除去砂砾、植物根系等,混合均匀后用四分法缩分至500 g,将样品粉碎,研磨后过0.28 cm孔径筛,每个单元土样编号后分别保存于密封塑料袋中备用。

2010年10月上旬,以农田田埂为界,随机选择成熟水稻田为采样单元,共计20个,单元面积约为0.1~0.3 hm<sup>2</sup>。用蛇形法分别采集晚稻稻谷样品约1 kg,将样品编号风干后按文献<sup>[8]</sup>中的标准出糙。糙米和稻壳于70℃烘至恒重,磨碎后过0.28 cm孔径筛,分别保存于密封塑料袋中,备用。

### 1.4 分析方法

土壤样品全Cd含量采用盐酸-硝酸-高氯酸消

解<sup>[9]</sup>,火焰法测定。以空白、GB W07405(GSS-5)进行质量控制,以确保消解过程及测定的准确度。

糙米和稻壳样品全Cd量采用硝酸消解<sup>[9]</sup>,石墨炉法测定。以空白、GB W07603(GSV-2)进行质量控制。

### 1.5 评价方法

采用单因子指数法<sup>[10]</sup>评价土壤的污染现状,计算公式为 $P_i = C_i / C_0$ ( $P_i$ 为单项污染指数, $C_i$ 为污染物实测平均含量, $C_0$ 为污染起始值(即土壤元素平均背景值与其2倍标准差之和,湖南省土壤元素Cd的平均背景值及其标准差取值分别为0.098 mg/kg、0.065 mg/kg<sup>[11]</sup>)。土壤污染等级划分参照文献<sup>[10]</sup>中的标准。

采用潜在生态危害指数法<sup>[12]</sup>定量评估污染土壤潜在生态危害的程度,计算公式为 $F_i = C_i / C_e$ , $E_i = T_i \times F_i$ ( $F_i$ 为单项污染系数, $C_i$ 为表层土壤污染物实测平均含量, $C_e$ 为某污染物参比值, $T_i$ 为单个污染物毒性响应参数, $E_i$ 为潜在生态危害单项系数)。本研究采用湖南省土壤元素Cd平均背景值0.098 mg/kg为参比值<sup>[5]</sup>,Cd的毒性响应参数取值为30<sup>[5]</sup>,重金属单项污染系数分级参照文献<sup>[5]</sup>中的标准。

本研究主要针对食物链传递的方式,对成年人食用Cd污染稻米的健康风险进行评价。运用风险商(HQ)建立健康风险评价模型<sup>[13]</sup>,计算公式为: $HQ = ADD / RfD$ , $ADD = (C_i \times IR \times ED \times EF) / (BW \times AT \times 365)$ 。式中,ADD为重金属元素的日摄入量,RfD为口服参考剂量,Cd的取值为每人每天食物中0.001 mg/kg。当HQ=1.0时,表明没有明显的负面影响;当1.0 < HQ < 10时,表明对人体健康产生影响的可能性很大;当HQ > 10时,表明存在慢性毒性; $C_i$ 为稻米中Cd的实测平均含量,IR为农村成年人每天的饭量,ED为暴露时间,EF为暴露频率,BW为农村成年人的平均体重,AT为生命期望值,365为转化系数。本研究选取农村成年人每人每天的饭量为0.389 kg,平均体重为62.7 kg<sup>[12]</sup>。

### 1.6 数据处理

采用Excel 2007和SPSS 16.0统计分析软件进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 供试土壤 Cd 的含量及污染程度

由表1可知,稻田土壤Cd含量分布不均匀,含量为1.27~4.22 mg/kg,各样品间Cd含量差异显著。20个稻田土壤样品中Cd元素的污染指数值( $P_i$ )均大

于3倍污染起始值(0.228),其中,最大污染指数值(18.51)为3倍污染起始值的27倍,最小污染指数值(5.57)为3倍污染起始值的8倍。可见,工业园区周边的稻田土壤均受到Cd的重度污染。

表1 稻田土壤中 Cd 的含量及污染指数

Table 1 Total concentrations and pollution index of Cd in the paddy soils

样品编号	GPS 坐标		Cd 含量 ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	$P_i$	样品编号	GPS 坐标		Cd 含量 ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	$P_i$
1	N27°54.570'	E112°58.381'	1.90	8.33	11	N27°54.732'	E112°58.341'	1.93	8.46
2	N27°54.551'	E112°58.342'	1.27	5.57	12	N27°54.752'	E112°58.341'	2.18	9.56
3	N27°54.603'	E112°58.358'	2.15	9.43	13	N27°54.739'	E112°58.352'	2.55	11.18
4	N27°54.584'	E112°58.323'	1.33	5.83	14	N27°54.765'	E112°58.384'	2.50	10.96
5	N27°54.650'	E112°58.326'	2.29	10.04	15	N27°54.756'	E112°58.394'	2.10	9.21
6	N27°54.635'	E112°58.287'	2.06	9.04	16	N27°54.722'	E112°58.390'	1.76	7.72
7	N27°54.686'	E112°58.296'	2.45	10.75	17	N27°54.736'	E112°58.417'	2.27	9.96
8	N27°54.669'	E112°58.263'	2.26	9.91	18	N27°54.712'	E112°58.737'	1.67	7.32
9	N27°54.695'	E112°58.325'	2.13	9.34	19	N27°54.679'	E112°58.413'	4.22	18.51
10	N27°54.726'	E112°58.298'	2.15	9.43	20	N27°54.665'	E112°58.438'	2.15	9.43

### 2.2 供试土壤 Cd 污染的潜在风险评价

由表2可知,稻田土壤中重金属 Cd 的潜在生态危害系数( $E_i$ )与 Cd 的污染系数( $F_i$ )成正比,且变幅较

大;最小的潜在生态危害系数为 388.80,最大为 1 291.80,均大于 320<sup>[5]</sup>。可见,该区域稻田土壤受到重金属 Cd 的极强生态危害。

表2 稻田土壤中 Cd 的潜在生态风险评价结果

Table 2 Assessment on potential ecological risk of heavy metals in the paddy soils

样品编号	$F_i$	$E_i$	生态危害程度	样品编号	$F_i$	$E_i$	生态危害程度
1	19.39	581.70	极强	11	19.69	590.70	极强
2	12.96	388.80	极强	12	22.24	667.20	极强
3	21.94	658.20	极强	13	26.02	780.60	极强
4	13.57	407.10	极强	14	25.51	765.30	极强
5	23.37	701.00	极强	15	21.43	642.90	极强
6	21.02	630.60	极强	16	17.96	538.80	极强
7	25.00	750.00	极强	17	23.16	694.80	极强
8	23.06	691.80	极强	18	17.04	511.20	极强
9	21.73	651.90	极强	19	43.06	1 291.80	极强
10	21.94	658.20	极强	20	21.94	658.20	极强

### 2.3 供试稻谷 Cd 污染的健康风险评价

从表3可知,稻壳样品中 Cd 含量范围为 0.86~3.14 mg/kg,糙米样品中 Cd 的含量范围为 0.63~2.92 mg/kg,超过国家粮食卫生标准(0.2 mg/kg)<sup>[14]</sup>。相关分析结果表明,糙米与稻壳的 Cd 含量呈极显著正相关( $y=0.976x+0.252(R^2=0.924)$ )。通过计算

可知,成年人人均 Cd 的日摄入量(ADD)很小,都在  $10^{-3}$  数量级以上,而风险商值(HQ)介于 1.0 与 10,表明成年人食用该工业园周边稻田产出的稻米对人体健康产生影响的可能性很大,明显存在重金属 Cd 的潜在健康危害。

表 3 稻谷中重金属 Cd 的含量和 ADD、HQ 值

Table 3 ADD, HQ, values and total concentrations of Cd in brown rice

样品 编号	Cd 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )		ADD/ (×10 <sup>-3</sup> mg)	HQ	样品 编号	Cd 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )		ADD/ (×10 <sup>-3</sup> mg)	HQ
	糙米	稻壳				糙米	稻壳		
1	2.10	2.39	5.35	5.35	11	1.42	1.37	3.61	3.61
2	0.63	0.86	1.61	1.61	12	1.13	1.30	2.88	2.88
3	0.96	1.04	2.43	2.43	13	1.62	1.80	4.13	4.13
4	0.74	1.19	1.87	1.87	14	2.09	2.20	5.32	5.32
5	1.77	2.20	4.51	4.51	15	0.84	1.10	2.13	2.13
6	1.41	1.51	3.58	3.58	16	2.92	3.14	7.44	7.44
7	0.97	0.89	2.47	2.47	17	1.18	1.90	3.00	3.00
8	2.22	2.41	5.66	5.66	18	0.74	1.03	1.89	1.89
9	0.81	0.96	2.07	2.07	19	0.91	1.24	2.32	2.32
10	2.01	2.15	5.12	5.12	20	0.95	1.15	2.41	2.41

### 3 小 结

单因子指数法分析结果表明,工业园区周边稻田土壤重金属 Cd 的含量分布不均匀,土壤重金属 Cd 的含量变幅为 1.27~4.22 mg/kg,可能与稻田和工业园的相对位置、主导风向及农民的耕作方式有关。污染指数值( $P_i$ )均大于 3 倍污染起始值,受重金属 Cd 的重度污染。土壤潜在生态危害系数( $E_i$ )变幅较大,且均大于 320,表明工业园区周边稻田土壤受到重金属 Cd 极强生态危害。由于 Cd 的危害大,较其他重金属元素的响应参数高,同时土壤 Cd 含量与生态危害成正相关,土壤污染越严重导致的生态危害越大。健康风险分析表明,风险商值(HQ)为 1.61~7.44,介于 1.0 与 10 之间,表明工业园区周边生产的稻米重金属 Cd 污染对人体健康产生影响的可能性很大,明显存在重金属 Cd 的潜在健康危害,建议立即采用生物、化学等措施治理该工业园周边的 Cd 污染稻田,改耕种非食用的作物,或改变其土地使用类型,用作绿化隔离带或建筑用地等非农用地,以减少健康风险与生态危害。

#### 参考文献:

- [1] Wanger G J. Accumulation of cadmium in crops plants and its consequences to human health[J]. Advance in Agronomy, 1993, 51: 173-212.
- [2] 甄燕红,成颜君,潘根兴,等.中国部分市售大米中

Cd、Zn、Se 的含量及其食物安全评价[J].安全与环境学报,2008,8(1):119-122.

- [3] 张良运,李恋卿,潘根兴,等.南方典型产地大米Cd、Zn、Se含量变异及其健康风险探讨[J].环境科学,2009,30(9):2792-2797.
- [4] 陈艳.湖南省土壤污染现状与修复[J].湖南农业科学,2002(6):31-33.
- [5] 雷鸣,曾敏,王利红,等.湖南市场和污染区稻米中As、Pb、Cd污染及其健康风险评价[J].环境科学学报,2010,30(11):2310-2314.
- [6] 刘昭兵,纪雄辉,王国祥,等.赤泥对Cd污染稻田水稻生长及吸收累积Cd的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(4):692-697.
- [7] 雷鸣,秦普丰,铁柏清.湖南湘江流域重金属污染的现状与分析[J].农业环境与发展,2010(2):62-65.
- [8] NY147—88,米质测定方法[S].
- [9] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2000:325-336.
- [10] 汪雅各.农业环境标准实用手册[K].杭州:浙江大学出版社,1991:32.
- [11] 潘佑民,杨国治.湖南土壤背景值及研究方法[K].北京:中国环境科学出版社,1988:338.
- [12] Hakanson L. An ecology risk index for aquatic pollution control :A sedimentological approach[J].Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [13] 汤洁,陈初雨,李海毅,等.大庆市建成区土壤重金属潜在生态危害和健康风险评价[J].地理科学,2011,31(1):117-122.
- [14] GB2715—2005,粮食卫生标准[S].

责任编辑:杨盛强